

# Field effect transistor used in a switching arrangement comprises a gate region between a source region and a drain region

**Publication number:** DE10036897 (C1)

**Publication date:** 2002-01-03

**Inventor(s):** KRETZ JOHANNES [DE]; LUYKEN JOHANNES R [DE];  
ROESNER WOLFGANG [DE]

**Applicant(s):** INFINEON TECHNOLOGIES AG [DE]

**Classification:**

**- international:** *B82B1/00; B82B3/00; H01L21/335; H01L29/15; H01L29/16; H01L29/76; H01L29/775; H01L29/78; H01L51/30; H01L51/00; B82B1/00; B82B3/00; H01L21/02; H01L29/02; H01L29/66; H01L51/05; H01L51/00; (IPC1-7): H01L29/775; B82B1/00; B82B3/00; H01L51/20; H01L51/30*

**- European:** H01L29/775; H01L21/335D; H01L29/06C6; H01L29/786C; H01L51/05B2B; Y01N4/00

**Application number:** DE20001036897 20000728

**Priority number(s):** DE20001036897 20000728

**Also published as:**

US2003132461 (A1)

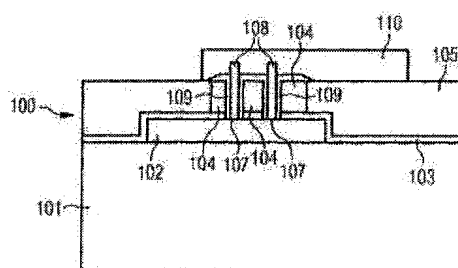
US6740910 (B2)

EP1305834 (A1)

WO0211216 (A1)

## Abstract of DE 10036897 (C1)

Field effect transistor comprises a gate region (104) between a source region (102) and a drain region (110). The gate region contains a conducting material provided with a passage with a nano-element electrically coupled with the source region and the drain region. The nano-element is arranged and structured in such a way that it can be controlled via gate region and it forms a channel region. An independent claim is also included for a process for the production of the field effect transistor. Preferred Features: The nano-element is a nano-tube and/or nano-wire. The gate region is a conducting layer. The nano-wire is a silicon nano-wire. The nano-tube is a carbon nano-tube. The nano-element has a heterostructure with an electrically insulating region between a first metallic region and a second metallic region.



Data supplied from the esp@cenet database — Worldwide



⑮ **BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT**

⑫ **Patentschrift**  
⑩ **DE 100 36 897 C 1**

⑥ Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**H 01 L 29/775**  
H 01 L 51/20  
H 01 L 51/30  
B 82 B 1/00  
B 82 B 3/00

⑳ Aktenzeichen: 100 36 897.2-33  
㉔ Anmeldetag: 28. 7. 2000  
㉕ Offenlegungstag: –  
㉖ Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 3. 1. 2002

**DE 100 36 897 C 1**

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑦③ **Patentinhaber:**  
Infineon Technologies AG, 81669 München, DE

⑦④ **Vertreter:**  
Patentanwälte MÜLLER & HOFFMANN, 81667 München

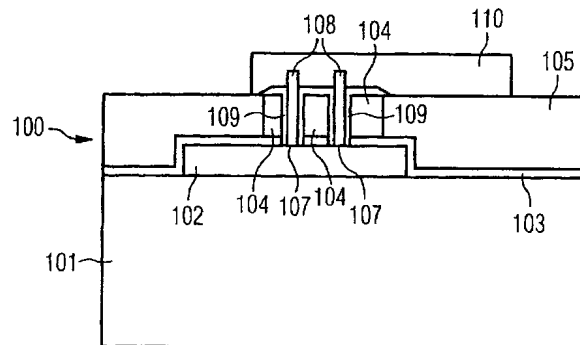
⑦② **Erfinder:**  
Kretz, Johannes, 80538 München, DE; Luyken,  
Johannes R., 81825 München, DE; Rösner,  
Wolfgang, 81739 München, DE

⑤⑥ **Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:**  
R. Müller, Bauelemente der Halbleiter-Elektronik,  
Springerverlag, ISBN 3-540-06224-6, S. 130-157,  
1973;  
C. Dekker, Carbon-Nanotubes as Molecular  
Quantum  
Wires, Physics Today, S. 22-28, Mai 1999;

Jung Sang Suh und Jin Seung Lee, Highly-Ordered  
Two-Dimensional Carbon-Nanotube Arrays,  
Applied  
Physics Letters, Volume 75, Nr. 14, S. 2047-2049,  
Oktober 1999;  
Z.F. Ren et al, Synthesis of Large Arrays of  
Well-Aligned Carbon Nanotubes on Glass,  
SCIENCE,  
Volume 282, S. 1105-1107, November 1998;  
N.Wang et al, Si nanowires grown from silicon  
oxide, Chemical Physics Letters, Vol. 299,  
S. 237-242, 1999;  
D. Goldberg et al, Fine Structure of boron nitride  
nanotubes produced from carbon nanotubes by a  
substitution reaction, Journal of Applied Physics,  
Vol. 86, S. 2364-2366, 1999;

⑤④ **Feldeffekttransistor, Schaltungsanordnung und Verfahren zum Herstellen eines Feldeffekttransistors**

⑤⑦ **Der Gate-Bereich eines Feldeffekttransistors weist min-  
destens ein Durchgangsloch auf, in dem ein Nanoelement  
vorgesehen ist, das mit Source und Drain elektrisch ge-  
koppelt ist. Das Nanoelement ist über das Gate in seiner  
Leitfähigkeit steuerbar, so dass das Nanoelement einen  
Kanal-Bereich des Feldeffekttransistors bildet.**



**DE 100 36 897 C 1**

[0001] Die Erfindung betrifft einen Feldeffekttransistor, eine Schaltungsanordnung sowie ein Verfahren zum Herstellen eines Feldeffekttransistors.

[0002] Ein solcher Feldeffekttransistor, eine solche Schaltungsanordnung und ein Verfahren zum Herstellen eines Feldeffekttransistors sind aus [1] bekannt.

[0003] Ein üblicher Feldeffekttransistor weist einen Source-Bereich, einen Drain-Bereich sowie einen zwischen dem Source-Bereich und dem Drain-Bereich sich befindenden Kanal-Bereich auf.

[0004] Weiterhin weist ein üblicher Feldeffekttransistor einen Gate-Bereich auf, bei dem durch Anlegen einer Spannung, das heißt eines elektrischen Potentials an den Gate-Bereich, die elektrische Leitfähigkeit des Kanal-Bereichs gesteuert wird derart, dass der Feldeffekttransistor entweder elektrisch sperrend oder elektrisch leitend betreibbar ist.

[0005] Ein üblicher Feldeffekttransistor basiert auf reiner Halbleiter-Mikroelektronik, die beispielsweise Silizium-Technologie einsetzt. Die herkömmliche Silizium-Mikroelektronik hat jedoch physikalische Grenzen insbesondere bei fortschreitender Verkleinerung der elektronischen Bauelemente, beispielsweise bei Verkleinerung der Dimension eines Feldeffekttransistors.

[0006] Weiterhin ist die bekannte Halbleiter-Technologie, bei der Halbleiterschichten übereinander abgeschieden werden und die einzelnen Bereiche des Feldeffekttransistors in den einzelnen Schichten durch Dotierung der jeweiligen Bereiche mit Dotierungsatomen gebildet werden, nicht für eine wirkliche dreidimensionale Integration in einer elektrischen Schaltungsanordnung geeignet.

[0007] Weiterhin sind aus [2] Grundlagen über sogenannte Carbon-Nanoröhren, die im weiteren als Kohlenstoff-Nanoröhren bezeichnet werden, bekannt. Ein Verfahren zum Herstellen von Kohlenstoff-Nanoröhren durch Aufwachsen der Kohlenstoff-Nanoröhren auf einem Substrat ist aus [3] und [4] bekannt.

[0008] Weiterhin ist aus [5] ein Verfahren zum Herstellen eines Silizium-Nanodrahtes bekannt.

[0009] Ferner ist es aus [6] bekannt, eine Kohlenstoff-Nanoröhre mit Bor-Atomen und Stickstoff-Atomen zu dotieren, so dass aus einer halbleitenden Kohlenstoff-Nanoröhre oder einer metallisch leitenden Kohlenstoff-Nanoröhre eine elektrisch isolierende Bor-Nitrid-Nanoröhre entsteht.

[0010] Der Erfindung liegt das Problem zugrunde, einen Feldeffekttransistor, eine Schaltungsanordnung, sowie ein Verfahren zum Herstellen eines Feldeffekttransistors anzugeben, das für eine dreidimensionale Integration besser geeignet ist als Feldeffekttransistoren, die ausschließlich auf der in [1] beschriebenen Technologie-Prinzipien beruhen.

[0011] Das Problem wird durch den Feldeffekttransistor, durch die Schaltungsanordnung, sowie durch das Verfahren zum Herstellen eines Feldeffekttransistors mit den Merkmalen gemäß den unabhängigen Patentansprüchen gelöst.

[0012] Ein Feldeffekttransistor weist einen Source-Bereich, einen Drain-Bereich und einen Gate-Bereich auf. Der Gate-Bereich ist zwischen dem Source-Bereich und dem Drain-Bereich angeordnet. Der Gate-Bereich, der aus leitfähigem Material gebildet ist, beispielsweise aus einer leitfähigen Schicht mit Aluminium, Titan, Wolfram, Gold, Silber oder einer Legierung aus zumindest einem der zuvor genannten Materialien, weist mindestens ein Durchgangsloch, welches auch als Pore bezeichnet wird, auf. Grundsätzlich ist eine beliebige Anzahl von Durchgangslöchern in dem Gate-Bereich vorgesehen.

[0013] In dem Durchgangsloch oder in der Vielzahl von Durchgangslöchern ist mindestens ein Nanoelement vorge-

sehen, welches mit dem Source-Bereich und dem Drain-Bereich des Feldeffekttransistors elektrisch gekoppelt ist.

[0014] Unter einem Nanoelement ist in Rahmen der Erfindung beispielsweise eine Nanoröhre und/oder ein Nanodraht, beispielsweise eine halbleitende Kohlenstoff-Nanoröhre oder ein halbleitender Silizium-Nanodraht zu verstehen.

[0015] Das Nanoelement kann jedoch auch eine Heterostruktur aufweisen mit mehreren Bereichen, vorzugsweise einem ersten metallisch leitenden Bereich, einem zweiten elektrisch leitenden Bereich und einem elektrisch isolierenden Bereich, der zwischen dem ersten metallisch leitenden und dem zweiten metallisch leitenden Bereich angeordnet ist.

[0016] Die Bereiche können sowohl in einer einstückigen Struktur, beispielsweise einer Kohlenstoff-Nanoröhre durch Ausbilden unterschiedlicher elektrischer Eigenschaften in unterschiedlichen Bereichen der jeweiligen Nanoröhre oder in einem Silizium-Nanodraht gebildet werden.

[0017] Die Heterostruktur kann jedoch auch durch entsprechendes, mit ausreichender Genauigkeit durchgeführtes Zusammenfügen der einzelnen Bereiche als Teilelemente gebildet werden, die insgesamt die oben beschriebene Heterostruktur ergeben.

[0018] Durch die Erfindung wird es erstmals möglich, einen Feldeffekttransistor einzusetzen, der für eine wirkliche dreidimensionale Integration innerhalb einer integrierten Schaltung im Rahmen der Mikroelektronik eingesetzt werden kann.

[0019] Ferner ist die Dimension, das heißt der Platzbedarf auf einer Chipfläche eines solchen Feldeffekttransistors gegenüber einem bekannten Feldeffekttransistor erheblich geringer, da der den Kanal-Bereich bildende Nanodraht beziehungsweise die Nanoröhre sehr klein ausgestaltet ist, das heißt einen Durchmesser aufweist von bis zu lediglich 1 nm.

[0020] Gemäß einer Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass der erste metallisch leitende Bereich der Nanoröhre eine metallisch leitende Kohlenstoff-Nanoröhre ist oder ein Teil einer Kohlenstoff-Nanoröhre, die in dem ersten metallisch leitenden Bereich metallisch leitend ist. Der zweite metallisch leitende Bereich kann ebenfalls eine metallisch leitende Kohlenstoff-Nanoröhre sein oder ein Teilbereich der Kohlenstoff-Nanoröhre, welche auch den ersten metallisch leitenden Bereich aufweist, wobei der zweite metallisch leitende Bereich ebenfalls metallisch leitend ist.

[0021] Zwischen den beiden metallisch leitenden Bereichen ist ein elektrisch isolierender Bereich der Nanoröhre als Bor-Nitrid-Nanoröhre ausgebildet.

[0022] Für den Fall, dass eine Kohlenstoff-Nanoröhre mit zwei metallisch leitenden Bereichen und einem zwischen den metallisch leitenden Bereichen sich befindenden elektrisch isolierenden Bereich vorgesehen ist, wird der jeweilige elektrisch isolierende Bereich gebildet durch entsprechende Dotierung des jeweiligen Bereichs mit Bor-Atomen und Stickstoff-Atomen, wie in [6] beschrieben.

[0023] Der Source-Bereich kann gemäß einer Ausgestaltung der Erfindung ein für das Bilden, das heißt das Aufwachsen oder das Abscheiden aus der Gasphase katalytisch wirkendes Material enthalten, wie in [3] und [4] beschrieben.

[0024] Das für das Bilden der Nanoröhren katalytisch wirkende Material kann Nickel, Kobalt, Eisen oder eine Legierung aus zumindest einem der zuvor genannten Materialien enthalten.

[0025] Aufgrund dieser Ausgestaltung der Erfindung wird das Bilden einer Nanoröhre erheblich beschleunigt, wodurch das Herstellen des Feldeffekttransistors noch kostengünstiger gestaltet wird.

[0026] Das Nanoelement ist derart in dem Durchgangsloch angeordnet und ausgestaltet, dass es über den Gate-Bereich in seiner Leitfähigkeit steuerbar ist. Auf diese Weise bildet das Nanoelement anschaulich den Kanal-Bereich des Feldeffekttransistors.

[0027] Wird eine Kohlenstoff-Nanoröhre als Nanoelement eingesetzt, so weist die sich ergebende Struktur, das heißt der damit sich ergebende Feldeffekttransistor insbesondere den Vorteil auf, dass eine Kohlenstoff-Nanoröhre sehr einfach handhabbar und stabil ist, so dass die Fehleranfälligkeit eines solchen Feldeffekttransistors weiter verringert wird.

[0028] Durch Einsatz einer Heterostruktur wird anschaulich ein Feldeffekttransistor gebildet, der auf der Basis eines Tunnelprinzips elektrischer Ladungsträger beruht, wobei das Tunneln steuerbar ist aufgrund des elektrischen Potentials, welches an den Gate-Bereich angelegt wird.

[0029] Gemäß einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung ist es vorgesehen, dass der Drain-Bereich Nickel, Kobalt oder eine Legierung aus Nickel und/oder Kobalt enthält.

[0030] Eine Schaltungsanordnung weist mindestens einen Feldeffekttransistor der oben dargestellten Art auf.

[0031] Eine solche Schaltungsanordnung hat insbesondere den Vorteil der erhöhten, auch dreidimensional nunmehr vollständig möglichen Integration und mit dem damit verbundenen verringerten Platzbedarf, das heißt einer erheblich erhöhten Integrationsdichte der Bauelemente auf einem Chip.

[0032] Bei einem Verfahren zum Herstellen des oben beschriebenen Feldeffekttransistors wird auf einem Substrat eine Source-Schicht aufgetragen, wobei als Substrat undotiertes oder dotiertes Silizium, Glas, Quarz oder auch Saphir eingesetzt werden kann.

[0033] Auf der Source-Schicht wird eine elektrisch leitende Gate-Schicht aufgetragen. In einem weiteren Schritt wird in der Gate-Schicht mindestens ein Durchgangsloch gebildet, vorzugsweise mittels Trockenätzens, da bei Einsatz eines Trockenätzverfahrens zum Bilden der Durchgangslöcher in dem Gate-Bereich insbesondere vertikale Strukturen sehr exakt ätzbar sind.

[0034] In das Durchgangsloch wird mindestens ein Nanoelement eingebracht, welches mit der Source-Schicht elektrisch gekoppelt ist.

[0035] Das Nanoelement ist dabei derart angeordnet und ausgestaltet, dass es über den Gate-Bereich in seiner Leitfähigkeit steuerbar ist, so dass das Nanoelement den Kanal-Bereich des Feldeffekttransistors bildet.

[0036] Das Nanoelement wird für den Fall, dass es eine Kohlenstoff-Nanoröhre ist, beispielsweise auf einem sich auf dem Boden des Durchgangslochs befindenden Katalysator-Materials aufgewachsen oder auch abgeschieden.

[0037] Alternativ ist es vorgesehen, eine Kohlenstoff-Nanoröhre außerhalb des Durchgangslochs zu bilden und anschließend mechanisch in dem Durchgangsloch zu platzieren beispielsweise unter Verwendung eines Rasterkraftmikroskops derart, dass die in das Durchgangsloch eingebrachte Kohlenstoff-Nanoröhre in elektrischen Kontakt mit dem Boden, das heißt mit der oberen Oberfläche der Source-Schicht kommt.

[0038] Auf der Gate-Schicht wird eine Drain-Schicht eingebracht derart, dass die Drain-Schicht ebenfalls mit dem Nanoelement elektrisch gekoppelt ist.

[0039] Dies kann beispielsweise dadurch erreicht werden, dass das Nanoelement eine Länge aufweist, die größer ist als die Länge des Durchgangslochs, so dass sich das Nanoelement noch über die Oberfläche des Durchgangslochs hinaus erstreckt und sich somit bei Aufwachsen oder Abscheiden der Drain-Schicht auf der Gate-Schicht automatisch eine

elektrische Kontaktierung der Drain-Schicht mit dem Nanoelement ausbildet.

[0040] Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in den Figuren dargestellt und wird im weiteren näher erläutert.

[0041] Es zeigen

[0042] Fig. 1a bis 1c einen Feldeffekttransistor gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung zu unterschiedlichen Zeitpunkten während seines Herstellungsprozesses.

[0043] Fig. 1a zeigt ein Substrat, gemäß diesem Ausführungsbeispiel aus Siliziumdioxid **101**.

[0044] In alternativen Ausführungsformen kann anstelle des Siliziumdioxids auch Quarz oder Saphir als Substrat **101** verwendet werden.

[0045] Auf dem Substrat **101** wird mittels eines geeigneten CVD-Verfahrens, das heißt einem Abscheideverfahrens aus der Gasphase oder eines Aufwachsverfahrens oder mittels Aufdampfens oder Sputterns eine Source-Schicht **102** aus Nickel aufgebracht und mittels Photolithographie strukturiert. Die Source-Schicht **102** bildet in strukturierter Form den Source-Bereich des zu bildenden Feldeffekttransistors.

[0046] Anstelle des Nickels kann für die Source-Schicht **102** als alternatives Material grundsätzlich jedes geeignete Metall, insbesondere Kobalt oder Eisen verwendet werden.

[0047] Auf der die Source-Elektrode bildenden strukturierten Source-Schicht **102** sowie auf dem Substrat **101** wird in einem weiteren Schritt eine Dialuminiumtrioxid-Schicht ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) **103** abgeschieden.

[0048] Diese verglichen mit der Source-Schicht **102** relativ dünne Dialuminiumtrioxid-Schicht **103** dient als Dielektrikum, mit dem die Gate-Elektrode, die durch eine im weiteren beschriebene Gate-Schicht gebildet wird, von der Source-Schicht **102** elektrisch isoliert wird.

[0049] Gemäß diesem Ausführungsbeispiel ist die Source-Schicht **102** ungefähr 100 nm dick und die Dialuminiumtrioxid-Schicht **103** weist eine Schichtdicke von ungefähr 20 nm auf.

[0050] Wie in Fig. 1a weiterhin dargestellt ist, wird in einem weiteren Schritt auf der Dialuminiumtrioxid-Schicht **103** eine Aluminium-Schicht abgeschieden und strukturiert, so dass die strukturierte Aluminiumschicht, die im weiteren als Gate-Schicht **104** bezeichnet wird, das Gate des zu bildenden Feldeffekttransistors **100** darstellt.

[0051] Die Gate-Schicht **104** weist ebenfalls eine Dicke von etwa 100 nm auf und wird mittels eines geeigneten CVD-Verfahrens oder eines Sputter-Verfahrens, eines Aufdampf-Verfahrens oder eines Epitaxie-Verfahrens aufgebracht.

[0052] Anstelle des Aluminiums kann gemäß einer alternativen Ausführungsform für die Gate-Schicht **104** Titan, Wolfram, Silber oder Gold verwendet werden.

[0053] In einem weiteren Schritt (vergleiche Fig. 1b) wird eine weitere Schicht **105** aus Dialuminiumtrioxid abgeschieden mittels eines geeigneten CVD-Verfahrens oder eines Sputter-Verfahrens oder eines Abdampf-Verfahrens und die gebildete, grundsätzlich beliebig dicke weitere Schicht **105** wird mittels eines chemisch mechanischen Polierverfahrens (CMP-Verfahren) auf eine Dicke reduziert derart, dass die obere Oberfläche der weiteren Schicht **105** auf gleicher Höhe ist mit der oberen Oberfläche der Gate-Schicht **104**.

[0054] In einem weiteren Schritt wird in der Gate-Schicht **104** mittels beispielsweise Photolithographie und selbstjustierten bekannten Verengungsmethoden Photolack auf der Gate-Schicht und der weiteren Schicht **105** aufgebracht und es erfolgt eine Strukturierung derart, dass in einem weiteren Schritt mittels Trockenätzens Löcher **106** in die Gate-Schicht **105** geätzt werden.

[0055] Die auf diese Weise gebildeten Durchgangslöcher **106** weisen einen Durchmesser von ungefähr 1 nm bis

10 nm auf.

**[0056]** Das Trockenätzverfahren wird solange durchgeführt, bis sowohl in den gebildeten Löchern **106** das Material der Gate-Schicht **104** als auch das sich jeweils darunter liegende Material der Dialuminiumtrioxid-Schicht **103** entfernt wird.

**[0057]** Falls die verwendete Source-Schicht **102** nicht selbst die nötigen katalytischen Eigenschaften aufweist, wird in die Durchgangslöcher **106** in einem weiteren Schritt Material **107** aufgebracht, welches hinsichtlich eines weiteren beschriebenen Aufwachsens beziehungsweise Abscheidens von Kohlenstoff-Nanoröhren oder Silizium-Nanodrähten in dem Durchgangsloch **106** katalytisch wirkt.

**[0058]** Als Material **107** wird gemäß diesem Ausführungsbeispiel Nickel, Kobalt oder Eisen verwendet.

**[0059]** In einem weiteren Schritt wird, wie in **Fig. 1c** dargestellt ist, mittels des in [3] beschriebenen Verfahrens in jedem Durchgangsloch mindestens eine einwandige oder mehrwandige Kohlenstoff-Nanoröhre abgeschieden unter Einsatz des katalytisch wirkenden Metalls **107**. Selbstverständlich kann auch das in [4] beschriebene Verfahren in diesem Zusammenhang eingesetzt werden.

**[0060]** Das Abscheiden erfolgt derart, dass die jeweilige Kohlenstoff-Nanoröhre über die katalytisch wirkenden Metalle **107** mit der Source-Schicht **102** elektrisch gekoppelt sind.

**[0061]** Gemäß diesem Ausführungsbeispiel sind die aufgewachsenen Kohlenstoff-Nanoröhren halbleitende Kohlenstoff-Nanoröhren.

**[0062]** Die Kohlenstoff-Nanoröhren können mittels des bekannten Feldeffekts durch Anlegen einer elektrischen Spannung an den Gate-Bereich, das heißt an die Gate-Schicht **104** in ihrer Leitfähigkeit gesteuert werden, so dass die Kohlenstoff-Nanoröhren **108** anschaulich die Funktionalität des Kanalbereichs eines Feldeffekttransistors aufweisen.

**[0063]** Alternativ zu den Kohlenstoff-Nanoröhren können in die Durchgangslöcher **106**, wie oben beschrieben, gemäß dem aus [5] bekannten Verfahren Silizium-Nanodrähte mittels selektiver Silizium-Epitaxie aufgewachsen werden.

**[0064]** Auch Silizium-Nanodrähte können im Rahmen dieser Erfindung mittels eines sich ausbildenden Feldeffekts als Kanal-Bereich eines Feldeffekttransistors verwendet werden.

**[0065]** In einem weiteren Schritt wird ein Teil des Metalls der Gate-Schicht **104**, insbesondere beispielsweise das Aluminium der Gate-Schicht **104** oxidiert, so dass sich eine dünne oxidierte Gate-Schicht, beispielsweise aus Dialuminiumtrioxid **109** zwischen der weiterhin aus Metall, beispielsweise aus Aluminium bestehenden Gate-Schicht und den Nanoelementen, beispielsweise den Kohlenstoff-Nanoröhren oder den Silizium-Nanodrähten ausbildet.

**[0066]** In einem letzten Schritt wird auf der oxidierten Schicht **109** und der weiteren Schicht **105** eine weitere Metallschicht **110** als eine das Drain des Feldeffekttransistors bildende Drain-Schicht abgeschieden und mittels lithographischer Verfahren strukturiert.

**[0067]** Die Drain-Schicht **110** kann Nickel, alternativ auch Kobalt aufweisen.

**[0068]** Die Kohlenstoff-Nanoröhren **108** beziehungsweise die Silizium-Nanodrähte weisen eine Länge auf derart, dass sie nach deren Abscheidung beziehungsweise deren Aufwachsens über die obere Oberfläche der oxidierten Schicht **109** hinausragen.

**[0069]** Auf diese Weise wird durch Abscheiden beziehungsweise Aufbringen der Drain-Schicht **110** automatisch ein elektrischer Kontakt zu dem Nanoelement geschaffen, das heißt beispielsweise zu der Kohlenstoff-Nanoröhre **108**

oder zu dem Silizium-Nanodraht.

**[0070]** In diesem Dokument sind folgende Veröffentlichungen zitiert:

[1] R. Müller, Bauelemente der Halbleiter-Elektronik, Springer-Verlag, ISBN 3-540-06224-6, Seite 130–157, 1973.

[2] C. Dekker, Carbon-Nanotubes as Molecular Quantum Wires, Physics Today, S. 22–28, Mai 1999,

[3] Jung Sang Suh und Jin Seung Lee, Highly-Ordered Two-Dimensional Carbon-Nanotube Arrays, Applied Physics Letters, Volume **75**, Nr. 14, S. 2047–2049, Oktober 1999.

[4] Z. F. Ren et al. Synthesis of Large Arrays of Well-Aligned Carbon Nanotubes on Glass, SCIENCE, Volume **282**, S. 1105–1107, November 1998.

[5] N. Wang et al. Si nanowires grown from silicon oxide, Chemical Physics Letters, Vol. 299, S. 237–242, 1999

[6] D. Goldberg et al. Fine structure of boron nitride nanotubes produced from carbon nanotubes by a substitution reaction, Journal of Applied Physics, Vol. 86, S. 2364–2366, 1999.

#### Bezugszeichenliste

**100** Feldeffekttransistor  
**101** Substrat  
**102** Source-Schicht  
**103** Dialuminiumtrioxid-Schicht  
**104** Gate-Schicht  
**105** Weitere Schicht  
**106** Durchgangsloch  
**107** Katalytisches Material  
**108** Kohlenstoff-Nanoröhre  
**109** Oxidierte Gate-Schicht  
**110** Drain-Schicht

#### Patentansprüche

1. Feldeffekttransistor mit einem Source-Bereich, mit einem Drain-Bereich, mit einem Gate-Bereich zwischen dem Source-Bereich und dem Drain-Bereich, bei dem der Gate-Bereich leitfähiges Material enthält, in dem mindestens ein Durchgangsloch vorgesehen ist, bei dem in dem Durchgangsloch mindestens ein Nanoelement vorgesehen ist, das mit dem Source-Bereich und dem Drain-Bereich elektrisch gekoppelt ist, und bei dem das Nanoelement derart angeordnet und ausgestaltet ist, dass es über den Gate-Bereich in seiner Leitfähigkeit steuerbar ist, so dass das Nanoelement einen Kanal-Bereich bildet.
2. Feldeffekttransistor nach Anspruch 1, bei dem das Nanoelement eine Nanoröhre und/oder einen Nanodraht aufweist.
3. Feldeffekttransistor nach Anspruch 1 oder 2, bei dem der Gate-Bereich eine leitfähige Schicht ist.
4. Feldeffekttransistor nach einem der Ansprüche 1 bis 3, bei dem das Nanoelement einen halbleitenden Nanodraht aufweist.
5. Feldeffekttransistor nach Anspruch 4, bei dem der Nanodraht einen Silizium-Nanodraht aufweist.
6. Feldeffekttransistor nach einem der Ansprüche 1 bis 5, bei dem das Nanoelement eine halbleitende Nanoröhre aufweist.
7. Feldeffekttransistor nach Anspruch 6, bei dem die Nanoröhre eine Kohlenstoff-Nanoröhre aufweist.
8. Feldeffekttransistor nach einem der Ansprüche 1 bis 7, bei dem das Nanoelement eine Heterostruktur aufweist, mit

einem ersten metallisch leitenden Bereich,  
 einem zweiten metallisch leitenden Bereich, und  
 einem elektrisch isolierenden Bereich, der zwischen  
 dem ersten metallisch leitenden Bereich und dem zweiten metallisch leitenden Bereich angeordnet ist. 5

9. Feldeffekttransistor nach Anspruch 8,  
 bei dem der erste metallisch leitende Bereich der Nanoröhre eine metallisch leitende Kohlenstoff-Nanoröhre ist,

bei dem der zweite metallisch leitende Bereich der Nanoröhre eine metallisch leitende Kohlenstoff-Nanoröhre ist, und

bei dem der elektrisch isolierende Bereich der Nanoröhre eine Bor-Nitrid-Nanoröhre ist.

10. Feldeffekttransistor nach einem der Ansprüche 1 bis 9, bei dem der Source-Bereich ein für das Bilden einer Nanoröhre katalytisch wirkendes Material enthält.

11. Feldeffekttransistor nach Anspruch 10, bei dem das für das Bilden der Nanoröhre katalytisch wirkende Material mindestens eines der folgenden Materialien enthält: 20

Nickel, und/oder

Kobalt, und/oder

Eisen, und/oder

eine Legierung aus zumindest einem der zuvor genannten Materialien. 25

12. Feldeffekttransistor nach einem der Ansprüche 1 bis 11, bei dem der Gate-Bereich zumindest eines der folgenden Materialien enthält:

Aluminium, und/oder 30

Titan, und/oder

Wolfram, und/oder

Gold, und/oder

Silber, und/oder

eine Legierung aus zumindest einem der zuvor genannten Materialien. 35

13. Feldeffekttransistor nach einem der Ansprüche 1 bis 12, bei dem der Drain-Bereich zumindest eines der folgenden Materialien enthält:

Nickel, und/oder 40

Kobalt, und/oder

eine Legierung aus zumindest einem der zuvor genannten Materialien.

14. Schaltungsanordnung mit mindestens einem Feldeffekttransistor nach einem der Ansprüche 1 bis 13. 45

15. Verfahren zum Herstellen eines Feldeffekttransistors,

bei dem auf einem Substrat eine Source-Schicht aufgetragen wird,

bei dem auf der Source-Schicht eine elektrisch leitfähige Gate-Schicht aufgetragen wird, 50

bei dem in der Gate-Schicht mindestens ein Durchgangsloch gebildet wird,

bei dem in das Durchgangsloch mindestens ein Nanoelement eingebracht wird, das mit der Source-Schicht elektrisch gekoppelt ist, wobei das Nanoelement derart angeordnet und ausgestaltet ist, dass es über den Gate-Bereich in seiner Leitfähigkeit steuerbar ist, so dass das Nanoelement einen Kanal-Bereich bildet, 55

bei dem auf der Gate-Schicht eine Drain-Schicht aufgebracht wird derart, dass die Drain-Schicht mit dem Nanoelement elektrisch gekoppelt ist. 60

16. Verfahren nach Anspruch 15, bei dem das Durchgangsloch mittels Trockenätzens gebildet wird. 65

FIG 1a

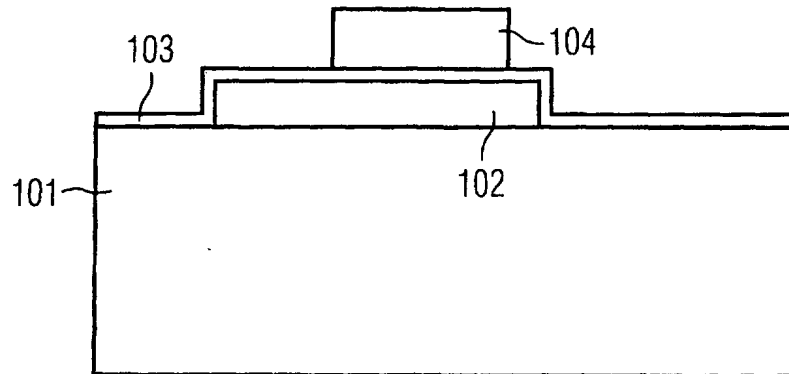


FIG 1b

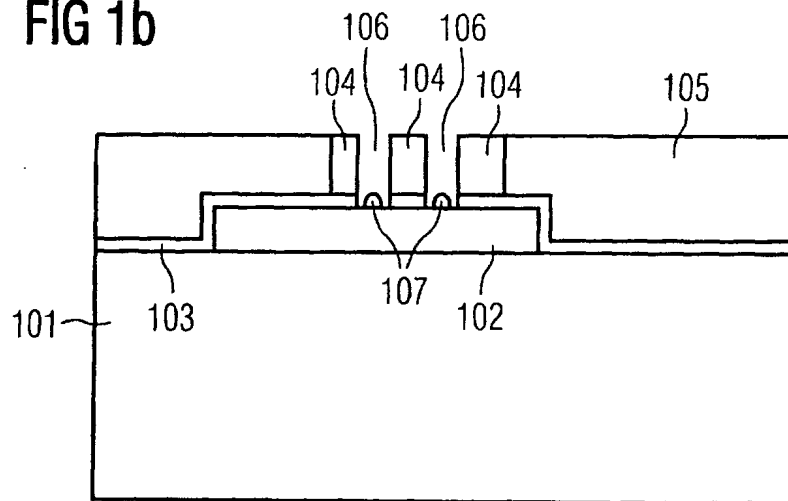


FIG 1c

